

Ю. И. Анисимов, Н. А. Агисhev, В. С. Гузь

РАЗВИТИЕ СРЫВНОЙ МЕТОДИКИ ИМПУЛЬСНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ПАРОВ МЕТАЛЛОВ

Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Развитием срывной методики импульсного получения паров металлов являются газоразрядные трубки (ГРТ), изготовленные по электродинамической дисперсной (ЭДД) технологии. Суть технологии заключается в следующем. В газоразрядной трубке создаётся электродинамическая взвесь частиц химического соединения. Давление буферного газа таково, что электрический разряд в ГРТ носит диффузионный характер. Это приводит к образованию плёнки вещества, напылённой на внутреннюю стенку ГРТ. Перспективность применения ГРТ, созданной по ЭДД-технологии, в работе рассмотрена на примере возможности создания нового «цветного» лазера на самоограниченных переходах. Используемая при этом ГРТ имеет на стенках напылённую смесь металлов Pb, Au, Cu и буферный газ — N₂. Практические оценки такого лазера показывают возможность его реализации. Библиогр. 12 назв.

Ключевые слова: электродинамические дисперсные системы, электрический разряд, лазер на самоограниченных переходах.

Для цитирования: Анисимов Ю. И., Агисhev Н. А., Гузь В. С. Развитие срывной методики импульсного получения паров металлов // Вестник СПбГУ. Физика и химия. 2017. Т. 4 (62). Вып. 3. С. 264–267. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu04.2017.303>

Yu. I. Anisimov, N. A. Agishev, V. S. Guz

DEVELOPMENT OF THE DISRUPTIVE TECHNIQUE OF PULSED METAL VAPOR PRODUCTION

St. Petersburg State University,
7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The development of a disruptive technique for pulsed production of metal vapors is gas-discharge tubes (GDT), manufactured by electrodynamic disperse (EDD) technology. The essence of technology is. An electrodynamic suspension of the chemical compound particles is created in the discharge tube. The pressure of the buffer gas is such that the electric discharge in the discharge tube possesses diffusive nature. This leads to the formation of a film of a substance deposited on the inner wall of the DT. The perspective of using GDT, created by EDD technology, is considered in the work on the example of the possibility of creating a new “color” laser on self-limited transitions. The DT used in this process has on the walls a evaporated compound of metals Pb, Au, Cu and a buffer gas N₂. Practical evaluations of such a laser show the possibility of its realization. Refs 12.

Keywords: electrodynamic disperse systems, electrical discharge, laser on self-limited transitions.

For citation: Anisimov Yu. I., Agishev N. A., Guz V. S. Development of the disruptive technique of pulsed metal vapor production. *Vestnik SPbSU. Physics and Chemistry*. 2017. Vol. 4 (62), iss. 3. P. 264–267. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu04.2017.303>

Введение. Развитие основных направлений импульсного получения паров (ИПП) металлов связано с именем А. М. Шухтина и сотрудников лаборатории интерференционной спектроскопии [1]. В работе [2] отмечалась важность срывной методики ИПП. Суть её — в явлении срыва атомов металла со стенки газоразрядной трубки (ГРТ) при

взаимодействии плазмы импульсного разряда с металлическим слоем, предварительно нанесённом на стенку. Главное преимущество срывной модификации ИПП связано с многократным режимом работы ГРТ при возможности достижения высоких стационарных концентраций паров [4]. Развитием срывной модификации ИПП является ГРТ, изготовленная по электродинамической дисперсной (ЭДД) технологии. Суть ЭДД-технологии в следующем [5]: в газоразрядной трубке создаётся электродинамическая взвесь частиц химического соединения, причём давление буферного газа таково, что электрический разряд в ГРТ носит диффузный характер, приводящий к образованию плёнки вещества, напылённой на внутреннюю стенку ГРТ. Главные преимущества ГРТ, изготовленных по ЭДД-технологии, заключаются в многократном режиме работы (характерному при срывной модификации ИПП) и простоте изготовления ГРТ. Кроме того, ГРТ отличается простотой работы с различными смесями веществ или тугоплавких металлов.

В настоящее время существуют лазеры на самоограниченных переходах паров Pb, Au, Cu [6], а также лазеры на смесях или комбинациях паров металлов [10]. Рабочие температуры возникновения генерации в лазерах на парах: Cu — $T_{\text{Cu}} = 1500^\circ\text{C}$, Au — $T_{\text{Au}} = 1650^\circ\text{C}$, Pb — $T_{\text{Pb}} = 1000^\circ\text{C}$ [12]. Согласно оценкам, приведённым в работе [2], при срывной модификации ИПП нагрев стенок ГРТ может достигать температуры $T = 4500^\circ\text{C}$. При этом глубина проникновения вводимой энергии в стенки ГРТ не превышает 5 мкм. Также отмечалось, что срывная методика характеризуется слабой зависимостью вводимой в ГРТ энергии от рода буферного газа. Основываясь на этом, авторы в своей работе остановились на использовании N_2 в таком качестве.

Практическая оценка лазера. С учётом приведённых выше фактов авторы предлагают следующую модель ГРТ для ИПП. Основа — газоразрядная трубка с напылённым внутри покрытием из смеси Pb, Au, Cu и буферным газом N_2 , работающая в двухимпульсном режиме. Высокоэнергетичный первый импульс разряда с энергией свыше 150 Дж испаряет со стенки металлы Pb, Au, Cu в основное состояние. В такой схеме передача энергии от конденсаторной батареи к напылённой смеси металлов Pb, Au, Cu с толщиной в 1 мкм внутри ГРТ происходит посредством буферного газа N_2 . Представленная модель не налагает особых требований к крутизне фронтов (форме) первого импульса. Этот разряд превращает покрытие из смеси металлов в отдельные атомы в основном состоянии.

Второй импульс, задержанный относительно первого на 20–30 мкс, предназначен для возбуждения из основного состояния молекул N_2 и атомов испарённых ранее металлов. По оценкам, данный импульс должен быть наносекундным с крутизной нарастания фронта 10^9 – 10^{10} А/с [6]. После чего, с учётом соответствующих зеркал резонатора, должны возникнуть импульсы сверхсвечивости длительностью 1–10 нс в спектральном диапазоне, соответствующем генерации Pb, Au, Cu и N_2 , т. е. охватывающем ближний УФ- и видимый диапазон.

Авторы, конечно, понимают, что получение такой генерации — очень сложная задача, зависящая от множества условий, но предложенный путь создания «цветного» лазера подчёркивает перспективность использования ГРТ, изготовленной по ЭДД-технологии. На основе экспериментальных данных по ЭДД-системам и табличных значениях ниже приводится простейший расчёт ГРТ, изготовленной по ЭДД-технологии, со смесью металлов Pb, Au, Cu и буферным газом N_2 .

Данные из работы [11] показывают, что для создания взвеси частиц меди с диаметром в 30 мкм необходимо приложить поле 50 Гц напряжённостью 4–5 кВ/см. Чтобы при таких же характеристиках поля создать взвесь из смеси частиц металлов,

предполагается равенство масс частиц для Pb, Au и Cu. Диаметры частиц смеси соответственно равны $d_{\text{Pb}} = 28$ мкм, $d_{\text{Au}} = 24$ мкм, $d_{\text{Cu}} = 30$ мкм.

Затем из смеси создаётся ЭДД-взвесь частиц Pb, Au, Cu, и уже в этой взвеси производится диффузный испаряющий разряд при подходящем давлении и виде буферного газа (не обязательно N_2), который эффективно взаимодействует с поверхностью частиц смеси металлов, сравнимой с внутренней поверхностью между разрядными электродами ГРТ. При равновероятном воздействии разряда на виды металлов, после которого металлы Pb, Au, Cu оказываются на внутренней стенке ГРТ, установлено, что равновероятность обеспечивается равенством площадей всех частиц смеси.

Энергия конденсаторной батареи 1200 Дж, половина её теряется на разряднике, пусть лишь четверть энергии идёт на испарение частиц (150 Дж), тогда массовые запыски будут таковыми: $m_{\text{Cu}} = 14$ мг, $m_{\text{Au}} = 23$ мг, $m_{\text{Pb}} = 17$ мг.

При полном возбуждении атомов металлов Pb, Au, Cu необходима энергия порядка 150 Дж, для возбуждения буферного газа с N_2 при работе на правой ветви кривой Пашена [11] необходима энергия в 200 Дж, при работе на левой ветви Пашена эта энергия составляет порядка 1 Дж за счёт уменьшения давления N_2 . Оценки энергии второго импульса опираются лишь на закон её сохранения и не могут считаться окончательными, но согласно им энергия второго накачивающего импульса должна быть больше или равна 350 Дж (правая ветвь кривой Пашена). Приведённые оценки нового «цветного» лазера вполне реальны, если заменить режим одиночных наносекундных импульсов на режим сдвоенных импульсных разрядов.

Заключение. Подводя итог всему вышесказанному, хотелось бы отметить, что предложенный путь создания «цветного» лазера тернистый и сложный, но сама эта идея стала возможной только благодаря новой модификации импульсного получения паров, опирающейся на разрядные трубки, созданные по электродинамической дисперсной технологии.

Литература

1. Шухтин А. М. Методы использования двухлучевого интерферометра скрещённого со спектрографом // Спектроскопия газоразрядной плазмы: сб. статей. Л.: Наука, 1970. С. 110–159.
2. Мишаков В. Г. Влияние водорода на процессы образования и возбуждения паров металлов при импульсном разряде: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Л., 1973. 139 с.
3. Ткаченко Т. Л. Получение и исследование активной среды лазера на парах натрия: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Л., 1985. 208 с.
4. Анисимов Ю. И., Машек А. Ч., Метельский К. Е., Рябчиков Е. Л. Безэлектродный электрический разряд в электродинамических дисперсных системах // Вестник СПбГУ. Серия 4. Физика. Химия. 2012. Вып. 2. С. 113–114.
5. Анисимов Ю. И., Скворцов Д. В., Рябчиков Е. Л., Петров П. А. Лазерные испарения медной плёнки, полученной по электродинамической дисперсной технологии // Вестник СПбГУ. Серия 4. Физика. Химия. 2014. Вып. 3. С. 312–322.
6. Исаев А. А. Лазер на парах меди. Яхрома—Мед — профессиональная лазерная установка. 2006. URL: <http://www.yachroma.com/lpm.htm> (дата обращения: 23.11.2016).
7. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1988. 322 с.
8. Анисимов Ю. И., Машек А. Ч., Метельский К. Е., Рябчиков Е. Л. Лазеры на основе ЭДД-технологии: метод. пособ. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2012. 36 с.
9. Батенин В. М., Бойченко А. М., Бучанов В. В. и др. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов — 2: в 2 т. Т. 1. М.: Физматлит, 2009. 541 с.
10. Колоколов И. С., Клименко В. И., Лябин Н. А. и др. Промышленный лазер на базе отпаянных активных элементов серии «KULON» на парах меди (LT-10 Cu), золота (LT-1,5 Au), смеси паров золота и меди (LT-Au-Cu) // Прикл. физика. 2003. № 3. С. 84–89.
11. Анисимов Ю. И., Машек А. Ч., Метельский К. Е., Рябчиков Е. Л. Лазеры на электродинамических дисперсных средах // Опт. и спектр. 2009. Т. 107, № 3. С. 394–397.

12. Исаев А. А., Казерян М. А., Петраш Г. Г. Импульсный лазер на парах свинца с высокой пиковой и средней мощностью // Квант. электроника. 1972. № 5. С. 100.

References

1. Shukhtin A. M. Metody ispol'zovaniia dvukhluchevogo interferometra skreshchennogo so spektrografom [Methods of use of the dual-beam interferometer skreshchyonny with the spectrograph]. *Spektroskopiia gazorazriadnoi plazmy: sb. statei* [Spectroscopy of gas-discharge plasma. Collected papers]. Leningrad, Nauka Publ., 1970, pp. 110–159. (In Russian)
2. Mishakov V. G. Vliianie vodoroda na protsessy obrazovaniia i vzbuzhdeniia parov metallov pri impul'snom razriade [Influence of hydrogen on processes of education and excitement of vapors of metals at the pulse category. PhD phys. and math. sci. thesis]. Leningrad, 1973. 139 p. (In Russian)
3. Tkachenko T. L. Poluchenie i issledovanie aktivnoi sredy lazera na parakh natriia [Receiving and research of the active environment of the laser on sodium vapors. PhD phys. and math. sci. thesis]. Leningrad, 1985. 208 p. (In Russian)
4. Anisimov Yu. I., Mashek I. Ch., Metelsky K. E., Ryabchikov E. L. Bezelektrodnyi elektricheskii razriad v elektrodinamicheskikh dispersnykh sistemakh [Electrodeless electrical discharge in electrodynamic dispersive medium]. *Vestnik St. Petersburg University. Series 4. Physics. Chemistry*, 2012, iss. 2, pp. 113–114. (In Russian)
5. Anisimov Yu. I., Skvortsov D. V., Ryabchikov Ye. L., Petrov P. A. Lazernoe isparenie mednoi plenki, poluchЕННОй по электродинамической дисперсной технологии [Laser evaporation of the copper layer obtained via electrodynamic dispersion technology]. *Vestnik St. Petersburg University. Series 4. Physics. Chemistry*, 2014, iss. 3, pp. 312–322. (In Russian)
6. Isaev A. A. Lazer na parakh medi. Iakhroma—Med — professional'naia lazernaia ustanovka [The laser on copper vapors. Iakhroma—Med — the professional laser machine]. 2006. Available at: <http://www.yachroma.com/lpm.htm> (accessed: 23.11.2016). (In Russian)
7. Karlov N. V. *Lektsii po kvantovoi elektronike* [Lectures on quantum electronics]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 322 p. (In Russian)
8. Anisimov Iu. I., Mashek A. Ch., Metel'skii K. E., Riabchikov E. L. *Lazery na osnove EDD-tehnologii: metod. posob.* [Lasers on the basis of EDDAS technologies. Methodology]. Saint Petersburg, SPbGU Publ., 2012. 36 p. (In Russian)
9. Batenin V. M., Boichenko A. M., Buchanov V. V. et al. *Lazery na samoogranichennykh perekhodakh atomov metallov — 2: v 2 t. T. 1* [Lasers on self-limited transitions of atoms of metals — 2, in 2 volumes. Vol. 1]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009. 541 p. (In Russian)
10. Kolokolov I. S., Klimenko V. I., Liabin N. A. et al. Promyshlennyy laser na baze otpaiannykh aktivnykh elementov serii “KULON” na parakh medi (LT-10 Cu), zolota (LT-1,5 Au), smesi parov zolota i medi (LT-Au-Cu) [The industrial laser on the basis of the unsoldered active elements of a series “KULON” on vapors of copper (LT-10 Cu), gold (LT-1,5 Au), mix of vapors of gold and copper (LT-Au-Cu)]. *Prikl. fizika* [Applied Physics], 2003, no 3, pp. 84–89. (In Russian)
11. Anisimov Iu. I., Mashek A. Ch., Metel'skii K. E., Riabchikov E. L. Lazery na elektrodinamicheskikh dispersnykh sredakh [Lasers on electrodynamic disperse environments]. *Opt. i spektr.* [Optics and Spectroscopy], 2009, vol. 107, no 3, pp. 394–397. (In Russian)
12. Isaev A. A., Kazerian M. A., Petrash G. G. Impul'snyi laser na parakh svintsa s vysokoi pikovoi i srednei moshchnost'iu [The pulse laser on lead vapors with a high peak and average power]. *Kvant. elektronika* [Quantum Electronics], 1972, no 5, pp. 100. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 4 апреля 2017 г.

Контактная информация

Анисимов Юрий Иванович — кандидат физико-математических наук, доцент;
e-mail: yuanis@mail.ru

Агисhev Николай Александрович — аспирант; e-mail: kolyan_a-ev@mail.ru

Гузъ Владимир Степанович — студент; e-mail: vova1195@yandex.ru

Anisimov Yu. I. — PhD, Associate Professor; e-mail: yuanis@mail.ru

Agishev N. A. — post-graduate student; e-mail: kolyan_a-ev@mail.ru

Guz V. S. — student; e-mail: vova1195@yandex.ru